ISSN 1880-9103

独立行政法人 水産総合研究センター研究開発情報

遠洋 リサーチ&トピックス

Vol. 7
2010. 3

ENYO Research&Topics

編集／遠洋水産研究所



水産庁調査船から撮影したピンガーを装着したメバチの行動観察風景

独立行政法人
水産総合研究センター

CONTENTS

もくじ

Topics

Research

Column

Activity

表紙写真解説

水面下にはピンガーを装着したメバチが遊泳しており、幾つもの測器が光刺激に対する魚の行動変化を水面下で捉えようとしている。写真は、日本丸の魚網を用いて網内での魚群の光刺激への反応を観察している様子。手前左の水色と黄色の小型艇「みずなぎ」にはストロボ光の発光装置の他に、水中カメラとソナーという二つの“目”が搭載されている。みずなぎの隣の日本丸二号艇にはソナーや魚探、水中カメラも装備されているが、ここではみずなぎの移動をサポートしている。ピンガーを装着したメバチの行動は、ハイドロフォンを装備した照洋丸が操業の邪魔にならない位置でモニターしている。

メバチ混獲回避技術観察調査に乗船して
～外洋域での光刺激実験トライアル～

仙 波 靖 子

2009年7月2日～8月10日において、筆者は水産庁による照洋丸調査“メバチ混獲回避技術観察調査”に乗船したのでその内容の一部を紹介する。本調査は照洋丸（水産庁）、日本丸（水産総合研究センター）、第83福一丸（(株) 太神漁業）の3隻による共同調査として実施された。

1．はじめに

メバチ（*Thunnus obesus*）は各大洋の熱帯～温帯の沖合域に広範囲に分布する熱帯性のまぐろである。従来、メバチは主にはえ縄漁業により成魚を中心とした漁獲が行われてきたが、1990年前後にカツオ・マグロを対象としたまき網漁業（以下、まき網漁業）にFAD（Fish Aggregating Devices：人工集魚装置又は人工筏）が

導入されると、まき網による小型魚の混獲が急増した。FADは、竹等を束ねてフロートを付け使い古した網地等をそこから垂らした構造が一般的で、海流にのり流れていく間にカツオ、キハダ、メバチなどのまぐろ類の魚群がつくようになる。FAD操業は、このようにして集群した魚群をまき網で巻いて漁獲する漁法であるが、漁獲効率の高さによって瞬く間に世界のまき網漁業に普及し、今日素群れ操業と並んでまき網漁業における最も主要な操業方法と言っても過言ではない。しかし、FADにはまき網漁業にとって本来の主対象魚種であるカツオやキハダの他に、30~60cm（尾叉長）のメバチ小型魚も一緒に混獲されてしまう。FAD操業の拡大と共にメバチ小型魚の混獲量も増大し、メバチ資源に及ぼす影響が懸念され、ICCAT（大西洋まぐろ類保存国際委員会）などの地域漁業管理機関でまき網漁業の国際規制が進められてきたところである。

この様な状況の中、2008年12月に開催されたWCPFC（中西部太平洋まぐろ類委員会）の年次会合でキハダ・メバチ保存管理措置（CMM2008-1）が採択され、FADの一定期間禁漁、ポケット公海の周年禁漁及びオブザーバーの100％乗船義務化など保存管理措置が強化された。同保存管理措置においては、FAD周辺で漁獲されるメバチとキハダ幼魚の漁獲を削減させる方法を探求するための3年計画の開発と実施に取り組み、それを評価し毎年委員会へ報告することとされていることから、メバチ小型魚の混獲回避手法の開発が急務となっている。日本の海外まき網業界は、かねてより大目網の導入やFADから垂下する網地丈のメバチ混獲への影響評価を行い、混獲回避手法を模索してきたが、決め手となる効果的な手法は見出せていないのが現状である。熱帯まぐろ研究室では、2001年よりFADに集群するカツオ・キハダ・メバチの選択的漁獲の可能性を探るべく、ピンガー（超音波発信機）を用いて自然環境下での鉛直行動の種間差・サイズ差を調査してきた。3回に及ぶ調査の結果、分布水深帯に種間差は見られるもののサイズによる差の方が大きく、魚種の取り分けが可能なほど顕著な違いではないという結論が得られ、新たな視点からのアプローチが求められていた。

新たな切り口～光刺激に対する感受性の種間差～

メバチの分布・遊泳水深はキハダやカツオに比べて深いという既往の知見やメバチに特有のタペータム（網膜の色素上皮細胞の中にある反射板でわずかな光を利用するための機能といわれる）の性質（Somiya et al. 2000）にヒントを得て、“メバチはカツオに比べて僅かな光を感知できる”という仮説が立てられた。人工光源を用いた魚類の行動制御については、光の条件と使用方法によって誘引光と威嚇光という2通りの制御技術の可能性が示唆されている（安・有本 1994）。誘引光としては集魚灯に代表される様に連続光が利用され、威嚇光としては点滅光・ストロボ光に嫌忌効果があることが知られており、侵入抑制等の応用技術に利用されている（松本ら 2005）。まぐろ類に関しては、光の強度が群れ形成に及ぼす影響についての研究や（Torisawa et al. 2007）、まき網漁業における集魚灯の利用に見られる様に連続光と行動に関して知見はあるものの、点滅光の影響についての知見は少ない。

今回の調査は、点滅光がメバチにのみ威嚇効果があるならば、或いはメバチにのみ作用する光強度の閾値があるならば、カツオの群れを威嚇せずにメバチだけを網外に誘導する事ができるのではないか、というアイデアに基づいている。メバチが知覚できる光強度がカツオのそれよりも有意に小さいことが検証できたとして、カツオの遊泳を刺激せずにメバチが行動するかどうかは別の問題であるが、それはそれとしてまずは光刺激がそれぞれの魚種にどんな影響を及ぼすかを見てみよう、というのが第一回目の調査の目的であった。かくして、「光刺激に対する3魚種の行動をピンガー、水中カメラ、ソナーを用いて観察する」調査計画が立てられた。熱帯まぐろ研究室は過去のピンガー調査の実績を買われ、本調査に参加することになった。

実験前の準備

熱帯の外洋域で、まき網操業を行いながらFADに集群した魚に光刺激を与えて各種の行動を観察する。この様な大規模な調査は最新鋭の設備を誇る照洋丸といえども単独では実行不可能である。今回の調査は、開発調査センター、水産工学研究所、遠洋水産研究所が参画し、調査船としては水産庁の照洋丸、開発調査センターの日本丸と（株）太神漁業の第83福一丸との3隻が共同する大規模な調査となった。

FADに魚群がつくまでにはある程度の日数を要する為、調査の数ヶ月前に第83福一丸にFAD10基の放流を依頼した。日本丸は随時点検（ソナーを用いて魚群の大

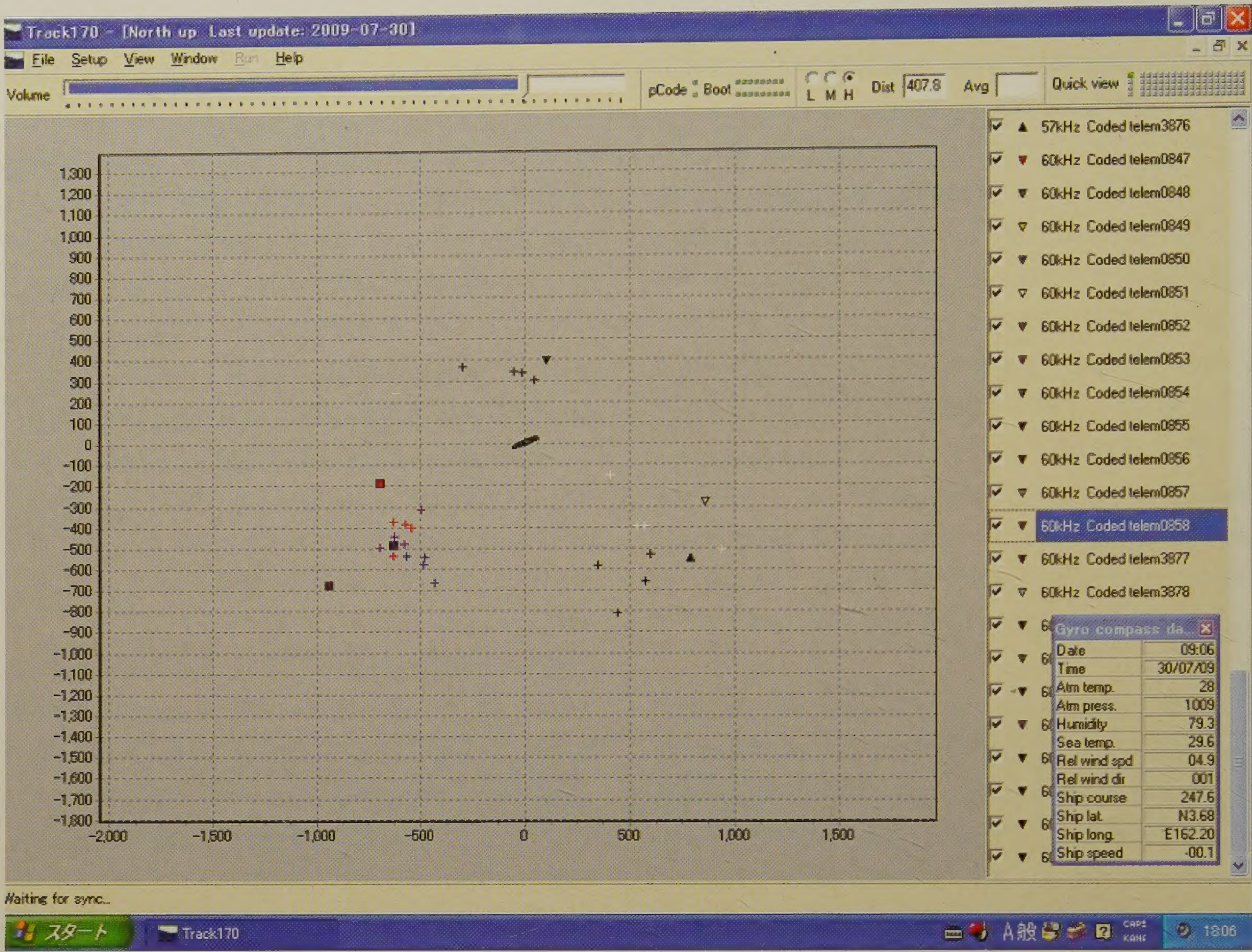


写真１　バイオテレメトリー画面に表示される船と観察個体の水平位置（North Up）。各個体はマークの形・色で識別され、＋印は過去に受信された水平位置の履歴である（格子の中心にある細長いマークが照洋丸、赤い四角が FAD）。５個体が探知範囲内にいたが、暫くしてから FAD に戻ってくる個体もいた。

きさを確認すること）や、保険となる FAD の調達（自然流木にブイをつけること）を行った。FAD の確保は、言わば調査地点の確保であり、非常に重要な任務と言える。一方、照洋丸では調査海域に到着するまでに、調査器材のセットアップの他、途中で釣った魚を使ってマグロ類にピンガーを装着する方法の検討・練習を行った。3 魚種の中でも、カツオは最も（物理的）刺激に弱く、装着後死亡又は FAD に留まることなく散逸する傾向が高いことから、迅速性を重視して小倉（2002）や水産庁・遠洋水産研究所（2005）を参考にワンタッチで装着が可能なバネ式、釣り針引っかけ式の 2 種類の装着器具を準備した。

ピンガーを用いた調査

ピンガーとは、送信機能のみを備えた超音波発信器のことで位置推定の他、圧力や温度等の様々な情報を計測する事ができる。超音波は海水中を効率よく伝播するため、水生生物の行動観察のツールとして広く利用されている。今回使用した ID ピンガー（V16P-1H-S16:Vemco 社製）は深度センサーを備えたタイプで、各ピンガーに ID が振り分けられている。照洋丸のバイオテレメトリーシステム（TRACK170）では、4 周波で最大 56 個体を識別しながら同時に観察することができる（写真 1）。ID ピンガーの大きなメリットは、特定の個体の行動を即時かつ詳細に観察できることである。現時点で、ソナーによるカツオ・キハダ・メバチの種判別技術は確立していないため、観察対象の種や体長がはっきりしたデータを入手できる ID ピンガーに寄せられた期待は大きかった。但し、ID ピンガーにも短所はあり、複数個体（例えば 30 個体）全ての行動を同時に観察しようとすれば、各個体のデータは 4~5 分に 1 回しか得られず、刺激に対する行動といった急激な（数秒単位の）行動を観察する

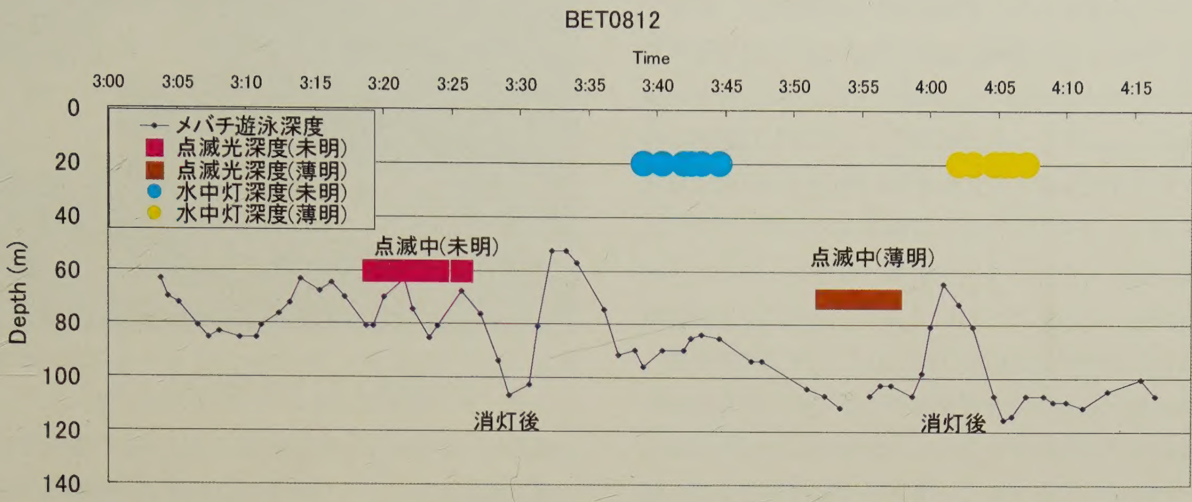


図１　未明時及び薄明時の実験で観察されたメバチの鉛直移動の変化

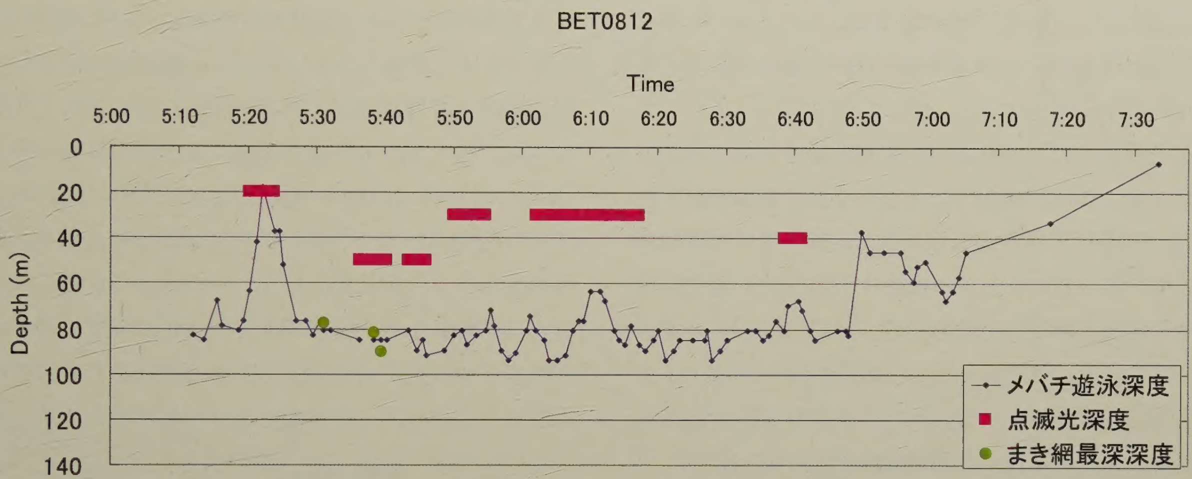


図２　朝の実験で観察されたメバチの鉛直移動の変化

上では必ずしも十分とは言えない。そもそも、実験前に（装着のダメージから回復した）３種の魚が必要な個体数FADについた状態を整える事自体が非常に難しいことは強調しておきたい。

選定されたFADに調査船が集合し、１回目の調査がスタートしたのは出港してから11日目のことだった。FAD周辺に船をつけ、ルアー釣りや曳き縄によって確保されたカツオ、キハダ、メバチにIDピンガーを取り付けて放流した。光刺激による影響を観察するにあたり、鉛直方向の行動は数値に変換された深度データを、水平方向の行動はバイテレ画面に表示される刺激源と観察個体の相対距離を観察し「近い」「中間」「遠い」の３つのカテゴリに分類し、野帳に記録した。

光に対する行動

今回の調査では、放流後に光刺激実験を行うまでの間のIDピンガーの脱落や魚の移動、群れの崩壊等により、光刺激に対する行動変化をIDピンガーで観察できたのはメバチのみであった。ここでは、自然条件下での遊泳から実験・操業を経て日本丸の漁具によって回収されるまでの観察に成功したメバチの行動について紹介する。観察した57.5cm（FL）のメバチは７月17日に放流後、自然環境下で１日行動を観察した後、19日の未明（3:00~3:40）、薄明（3:40~4:10）、朝（4:10~）の各時間帯において光刺激を与え、行動観察を行った。各実験において発光装置はなるべく対象魚の近くに水平方向へ移動させ、５分点滅10分消灯を１セットとして実施した。設置深度については、限られた時間内で多様なパターンを把握する為に様々な深度で点滅させた。未明に対象魚の真上で刺激を与えた結果、消灯後に大きく下降し、その後上昇再び下降という行動を示した（図１)。次いで薄明時に、対象の30m上で５分間点滅させたところ、メバ

チは消灯後急激な上昇と下降を示した（図1）。点滅中と消灯後の1分あたりの鉛直方向の移動速度について予備的解析を行った結果（自己相関を考慮しない Wilcoxon rank sum test）、いずれの時間帯においても点滅中と消灯後の間で移動速度に有意差は見られず[1]（未明：$p = 0.16 > 0.05$、薄明：$p=0.11>0.05$）、鉛直方向の行動の変化には大きな速度変化を伴わないのかもしれない。また、点滅中と点滅後の遊泳水深を比較すると、薄明時の実験について顕著な違いが見られた（$p<0.05$）。水平方向の行動を見てみると、未明時には刺激源から遠ざかり、薄明時には一旦近づいた後遠ざかってゆく傾向が見られた（図2）。これらの結果を一見すると、条件によってメバチは点滅光に対して異なる反応を示しているように見える。各時間帯において、点滅光の実験後に水中灯についても同様の条件で点灯を行ったが通常観察される誘引効果は確認できなかった。

その後照洋丸は一旦FADから離れ、日本丸が投網・環巻きを経て揚網を途中で停止した状態で朝の実験を開始した。操業を同時に実施したのは、網内での行動観察の他に大目網からのメバチの網抜けを水中カメラ・IDピンガーによって確認できる可能性を期待してのことである。5:20に網内に対象魚を囲った状態で魚の60m上で点滅を行った。点滅に先立ち、メバチは深度80mから上昇を開始し、点滅中も上昇を続け、3分30秒の間に62mもの急上昇を行った。この行動については、光刺激に由来するというより、朝マヅメ（夜明け〜太陽が昇るまでの間）時に通常観察される急上昇を反映している可能性がある。5:30以降は、揚網を再開しながら5分点滅10分消灯の原則を離れて5回に渡って点滅を行ったが、未明・薄明時に観察された大きな鉛直方向の変化は見られなくなった（図2）。捕らわれのメバチとしては、次第に網が狭まってくる恐怖の方が大きかったかもしれない。光刺激によって網を抜ける行動は見られず、メバチは30~40mの規模で上下に移動しながら網内をぐるぐると回り、網と共に海面に向かって引き上げられてその後回収された（写真2）。水平方向のデータは途中から記録ができなかったた



図2. 回収されたメバチ。放流後、ダルマザメにくわれたとおぼしき傷跡が見える。大役お疲れ様でした。

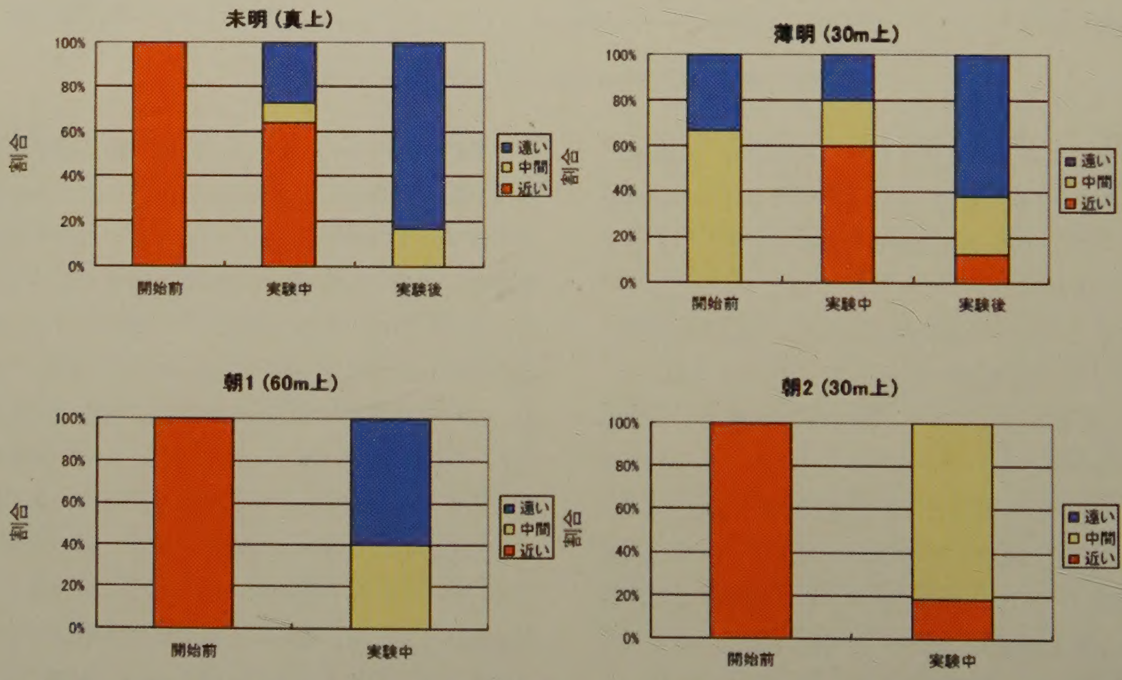


図3. 各時間帯の光刺激実験で観察された水平移動の変化。各実験において“実験前”“実験中”“実験後”の各5分間の観察時間内に得られたデータを3つのカテゴリに分けて割合を計算した。

1. 検定には自己相関を考慮していないため、結果の有意性の信頼性は低い（有意差が出やすい）可能性がある。適切な分析を行うにはデータ数を増やす必要がある。

め実験後（消灯後）のデータが欠損しているが、朝１回目と２回目の実験では刺激源から遠ざかる行動を示していた（図３）。

おわりに

今回の調査は、ピンガーを用いた調査を除けば調査員にとっても、船の乗組員にとっても初挑戦の内容が多く、トライアルの側面が強かったように思う。定点において複数個体を対象とするテレメトリー調査では、はえ縄調査の“魚が獲れない悩み”とは別の苦労があり（それはそれで重要であるが）、釣った後からがスタートである。放流個体が探知距離内に留まっていることが前提条件であるが、シャチの群れにより観察個体の群れが崩壊したり、放流後すぐに探知範囲外に移動したりといったフィールドならではの困難は当然存在した。その一方で、人為的なミス、担当者としての準備・認識不足を痛感する場面も多かった。例えば、夜間の観察中にわずかな光を漏らしてしまったために観察個体を散らしてしまったり、装着の手際が悪く放流までに時間がかかってしまったり、といった事が思い出される。今回IDピンガーの脱落率が高かったのは、装着対象とした小型魚の中に30cm台前半の個体が多く、この様な個体のサイズとIDピンガーのサイズが合っていなかった事も一因であると考えている。こういった点については反省し、今後に活かしたい。

IDピンガーによる調査結果を振り返れば、わずか数個体ではあったが光刺激に対するメバチの水平・鉛直方向の反応パターンについて情報が得られた。外洋域で、人為的光源に対するメバチの刺激反応を観察した事例は本調査が初めてのことと思われる。この結果は、日本丸のソナーや魚探で観察されていた光刺激に対する魚群反応を部分的に支持していた。今後は、実験計画（魚と刺激源の距離等の実験条件）等を十分に吟味した上で、観察例を増やし、観察された行動の一般性や諸要因（時間帯や魚－光源の距離）の影響について固めていく必要がある。

調査の効率ということを考えると、今回は諸事情により予備試験の猶予も無く調査実施に至ったが、フィールドで効率的に結果を得る上での予備調査の重要性が広く認識される必要があるように思う。幸運にも、次回の調査前にIDピンガーの装着法の検討も含めて光刺激以外の手法（音響）の有効性についても予備実験を実施する方向で話が進みつつある。現在、光刺激や大目網以外にも音響刺激や小型メバチの分布パターンの活用（海域特異性の有無）、ソナーによる魚種判別技術の開発など幾つかアイデアは出されている。いずれのアプローチも出口は“現場で活用できる”技術開発である以上、業界や漁業現場の方々の積極的取り組みなくして進展は難しいであろう。

謝辞

調査を実施するに当たり、照洋丸の乗組員の皆様、日本丸乗組員の皆様、第83福一丸乗組員の皆様には多大なるご協力を賜りました。水産工学研究所の長谷川誠三氏、高尾芳三氏、開発調査センターの大島達樹氏、伊加聖氏には調査期間を通じて大変お世話になりました。また、補助調査員の鉛氏、高橋氏、後藤氏には現場での作業はもとより音響機器の扱いやソナー画像の処理についてご協力･ご指導頂きました｡心より感謝の意を示します。最後に、本稿の執筆に当たり貴重なご意見を賜りました岡本浩明博士、岡村寛博士に深謝致します。

引用文献

小倉未基（2002）：カツオの遊泳行動調査．遠洋 No.110：2-7

水産庁・遠洋水産研究所（2005）：平成17年度照洋丸第一次調査航海報告書．中西部太平洋熱帯域での海外まき網漁業で利用されるFADs周辺における小型まぐろ類の行動調査． 134pp.

松本太朗・川村軍蔵・西　隆明・高田吉雄・杉村暢昭・山下佑介・栗原　梢（2005）：LED点滅光によるマダイの侵入抑制効果．日水誌．71（2）：188-197

Somiya, H., Takei, S., and Mitani, I（2000）：Guanine and its retinal distribution in the tapetum of the bigeye tuna, *Thunnus obesus.* Ichthy. Res. 47（4）：367-372

Torisawa, S., Takagi, T., Fukuda, H., Ishibashi, Y., Sawada, Y., Okada, T., Miyashita, S., Suzuki, K., and Yamane, T.（2007）：Schooling behaviour and retinomotor response of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* under different light intensities. J. of Fish. Biol. 71：411-420

安　永一・有元貴文（1994）：ストロボ光に対するマアジの回避行動．日水誌 60：713-718

（熱帯性まぐろ研究室）

オホーツク海における鯨類目視調査
-ヒゲクジラ類の資源研究-

金治　佑・吉田英可

1．はじめに

オホーツク海は北太平洋北西部に位置し、親潮の源流域であることや、地球上で最も低緯度に位置する海氷の存在から、海洋学的にも関心の高い海域である。海氷の融解直後に起こる植物プランクトンの大発生(春季ブルーム）は、オホーツク海の高い生産力を支え、植物プランクトンを餌とする動物プランクトンや小型魚類が集まり、鯨類や海鳥類の餌場が形成される。繁殖のため低緯度海域で越冬したミンククジラやナガスクジラ、セミクジラなどのヒゲクジラ類は（図1)、春から夏にかけて豊富な餌を求めてオホーツク海など高緯度海域へと来遊する（Braham and Rice　1984: Mizroch et al. 1984; Scarff 1991)。オホーツク海における鯨類調査は、北西太平洋の鯨類資源の動向を把握するうえで重要であり、また食物連鎖の頂点にある高次捕食者であることから、海域の生物生産の総体を表す指標として、生態系動態を理解するにも有益な情報を与えるだろう。

オホーツク海の科学的重要性の一方で、大部分がロシア連邦の排他的経済水域にあることから、同国の許可、協力なしに調査船は入域することができず、調査研究の実施は容易でない。遠洋水産研究所は1989～2003年にかけてオホーツク海で4回の大規模な鯨類目視調査を実施した（宮下 1997；加藤ら 2007)。今回、新たに連邦漁業海洋学研究所（VNIRO）と共同で、2009年7-9月に鯨類目視調査を行い（図2)、ダルマザメ咬傷にもとづくミンククジラ系群判別手法や、セミクジラ・ナガスクジラの資源動向について貴重な情報を得ることができた。本調査で得られた結果をもとに、オホーツク海におけるこれらヒゲクジラ資源研究の最新情報を紹介する。なお、本調査は水産庁補助事業「国際資源動向要因分析調査」の一環で行われたことを申し添える。

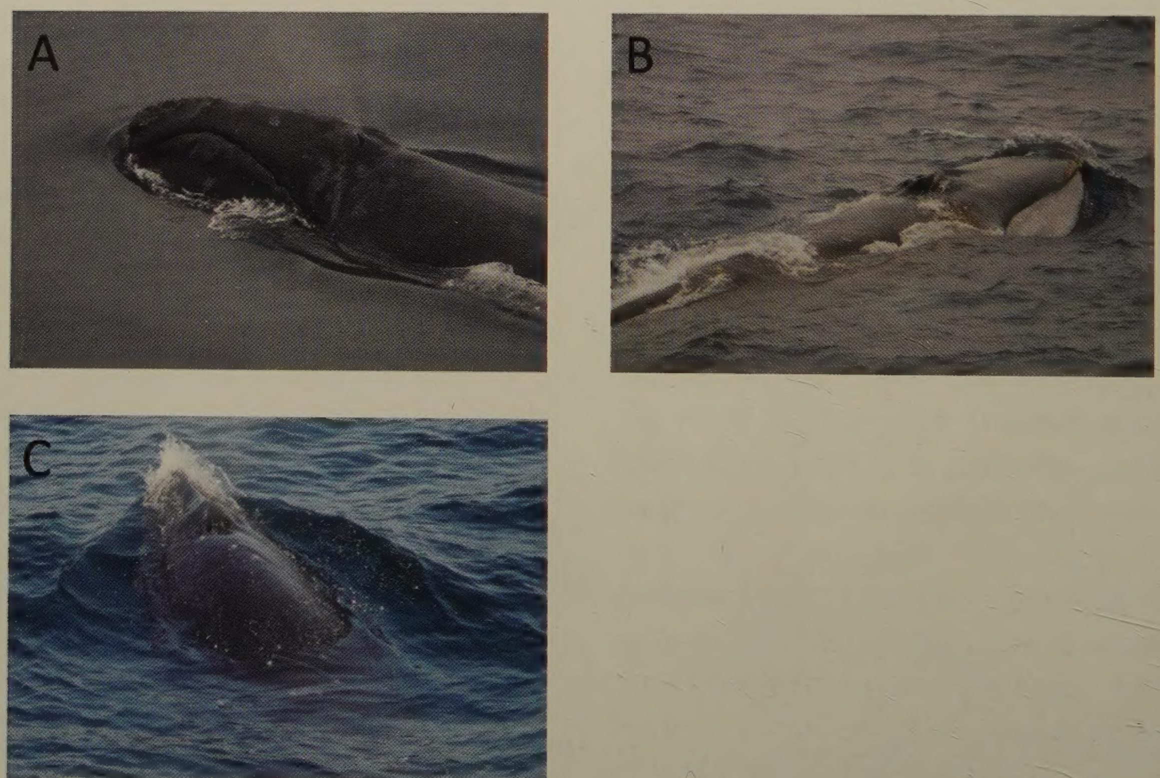


図1.　オホーツク海で観察されたセミクジラ（A)、ナガスクジラ（B)、ミンククジラ（C)。

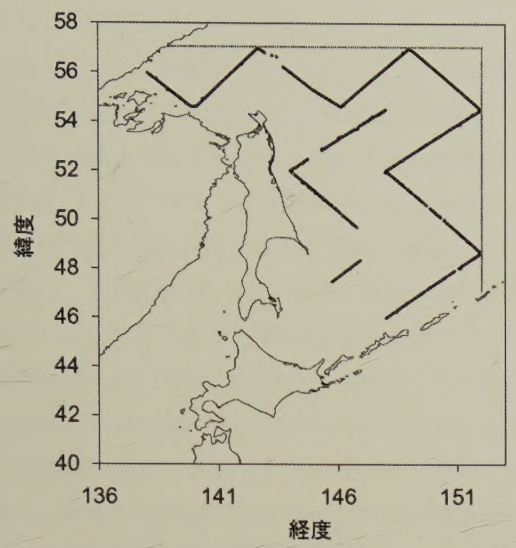


図２．調査海域と調査コース。

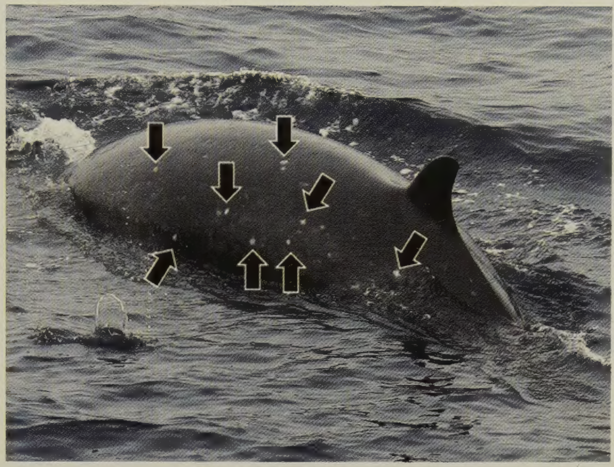


図３．ミンククジラの体表観察結果（撮影：野路滋）。矢印はダルマザメ咬傷を示す。

２．ミンククジラの系群構造

日本近海に生息するミンククジラには少なくとも２系群の存在が指摘されており、１つは主として東シナ海〜日本海に、他は北西太平洋に広く生息しているものと考えられている（IWC 2004）。両者はともに、春〜夏季にオホーツク海に来遊し摂餌することから、系群ごとの資源量を正しく把握するためには、同海での混合率を知る必要がある。両者は遺伝的に異なることが知られ、マイクロサテライトマーカーにより個体レベルでどちらの系群に属するかを判定できることが分かっているが（Kanda et al. 2009）、この方法は試料の採取と多くの機器類や高度な技術を必要とすることから、洋上での瞬時の判別には適用しにくく、より簡便な方法の確立が求められていた。そのような方法の１つにダルマザメ咬傷の確認がある。ダルマザメは、体長50cmほどの深海性のサメで、上下顎にそれぞれ小さいが鋭く尖った30本程度の歯を持っている（Compagno 1984）。本種の分布域はほとんど分かっていないが、世界中の熱帯〜亜熱帯の水深1000m以深の海域から出現が報告されている。日中は深海におり、夜になると表層に浮上し、鯨類や大型魚類の表皮をこそぎ取って食べることが知られている（Nakano and Tabuchi 1990）。本種に襲われると、体表面に直径5cm程度のクレーター状の傷ができ、浮上時に遠くからでも確認できる（図３）。日本近海において、ダルマザメは太平洋岸から出現報告のある一方、東シナ海からは未だ報告はない。このことから、太平洋側に南下せず主として東シナ海に来遊する系群には咬傷の認められない個体が多いものと予想され、実際に傷の有無で系群を識別できる可能性のあることが分かってきた（Fujise et al. 2001; Goto et al. 2009）。ミンククジラは遊泳速度が速く、浮上時に僅かな時間しか体表を現さないため、肉眼による洋上でのダルマザメ咬傷の確認は難しいものと予想された（Goto et al. 2009）。そこで本調査では、ミンククジラを発見時に写真撮影することにより、咬傷の有無を確認できるか検討を行った。調査中に発見したミンククジラ48頭のうち、写真を撮影できた22頭について咬傷を確認したところ、全個体に咬傷が認められた（図３）。ダルマザメに咬まれた直後は、傷跡は皮下の脂肪が露出して白っぽい色をしており識別し易いが、治癒するにつれて表皮に覆われ目立たなくなってくる。しかし、そのような場合でも、よく見ると咬跡は周囲のなめらかな表皮に比べてでこぼこしており、それと確認できる。今回、撮影された写真では、咬まれた直後の傷だけでなく、治癒し目立たなくなった傷までも確認することができた。さらなる資料の蓄積が必要であるがこの結果は、写真を撮影すれば洋上を遊泳するミンククジラの体表にできた咬傷を確認できること、この時期にオホーツク海に滞在するミンククジラはすべて太平洋沖に南下する系群に属する可能性の高いこと、を示している。東シナ海に南下する系群の個体は、より早い時期にオホーツク海を離れる可能性が指摘されていることから、今後は時期を変えての調査も必要であろう。

３．セミクジラとナガスクジラの資源

セミクジラは1840年以降、米国捕鯨船を中心に北太平洋の広い海域で捕獲され、1840-49年のわずか10年間で21,000-30,000頭もの個体が捕獲されたと見積もられて

いる（Scarff 2001）。このクジラは1931年以降、捕獲禁止となっているが、北東太平洋や北大西洋では依然として資源回復の兆候が認められていない（IWC 2001）。オホーツク海ではセミクジラの大規模な捕獲はなかったが、1960年代にソビエト船による数百頭規模の違法操業が疑われており（Yablokov 1994; Brownell et al. 2001）、最新の資源量や長期的な回復状況の把握が求められている。オホーツク海におけるセミクジラの資源量については、過去にいくつかの報告があるが（Berzin and Vladimirov 1989; Vladimirov 1994; Ohsumi and Wada 1974）、Miyashita and Kato（1998）による約900頭という値が最新かつ、もっとも信頼性の高い推定値とされている。その一方、同推定値は同一個体の重複カウントによって過大推定となっている恐れが指摘されている（IWC 2001）。同一個体の重複カウントを避けるためには、発見個体を写真撮影し、個体を識別する方法が効果的であろう。本調査では17群のセミクジラの一次発見（資源量推定に使用可能な有効発見）があり、このうち15群に対し写真を撮影できた。発見個体間で写真を照合したところ同一のものはなく、重複して発見、観察されたものは認められなかった。Miyashita and Kato（1998）が解析に用いた目視資料では、総調査距離2,688海里に対し、18群のセミクジラの一次発見が得られていた。単純な比較ではあるが、本調査では1,663海里の探索で17群の一次発見を得ており、より高い遭遇率（発見数／調査距離）となった。詳細については、今後の解析を待たねばならないが、従来より大きな推定値が得られるものと期待される。

ナガスクジラもまた、商業捕鯨により資源を大きく減少させた種のひとつである（Mizoroch et al. 1984）。オホーツク海では旧ソビエト連邦や日本の沿岸を基地とする捕鯨船によって小規模な捕獲が行われた程度であった。加藤ら（2007）は、過去4回の目視調査の結果から、同海域のナガスクジラ資源量を3,000～6,000頭と推定した。しかし最新の2003年の調査では、悪天候による未調査域が多く残されていた。彼らが解析に用いた調査では、のべ8,475海里にわたる探索中、98群の一次発見を得ていた。これに比して本調査では、57群の一次発見があり、上述のセミクジラ同様、過去を上回る遭遇率となった。本調査では天候に恵まれた結果、調査海域の広い範囲でデータを収集することができたことから、従来よりも精度の高い資源量を推定できるものと期待している。

4. おわりに

オホーツク海は北太平洋に生息するヒゲクジラ類の重要な索餌場であると同時に、海洋学的にも特徴のある科学的に極めて重要な海域である。しかし、第二次世界大戦以降の40余年にわたる東西冷戦によって、オホーツク海への外国船の立ち入りが困難な状況が続き、結果として研究活動のみならず産業利用もほとんどなされずにきた（高橋 1996）。今回の筆者らの調査では、絶滅危惧種とされるセミクジラやナガスクジラが（IUCN 2009）、高い頻度で観察され、想像以上に豊富な資源を維持していることが示唆された。これはまた同時に、オホーツク海には大型ヒゲクジラ類のバイオマスを維持できるほどの莫大な餌生物が存在し、生物生産が豊かなことを示している。この一世紀近く、世界の多くの海で鯨類資源が過度に利用され、北東太平洋のセミクジラのように、数十年にわたる捕獲禁止にもかかわらず回復の兆しが認められないケースもある。オホーツク海は、鯨類やそれを取り巻く生態系がほとんど手つかずに残された類希な海域である。しかし、近年は天然ガスや石油開発の進行が進められつつあり、生態系への影響が懸念されている。今後も鯨類資源の動向に注視しつつ、オホーツク海での調査研究を進めていく必要があろう。

引用文献

Berzin, A. A., and Vladimirov, V. L.（1989）: Recent distribution and abundance of cetaceans in the Sea of Okhotsk. Soviet Journal of Marine Biology, 15（2）: 84-90

Braham, H. W., and Rice, D. W.（1984）: The right whale, *Balaena glacialis*. Marine Fisheries Review, 46（4）: 38-44

Compagno, L. J. V.（1984）: FAO Species Catalogue Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to Lamniformes. FAO Fishery Synopsis, 125:93-96.

Fujise, Y., Zenitani, R., and Goto, M.（2001）: Utility of non-genetic information for stock identification –The case of the western North Pacific minke whale-. Paper SC/53/SD5 presented to the IWC scientific committee : 9pp.

Goto, M., Kanda, N., Pastene, L.A., Bando, T., and Hatanaka, H. (2009) : Differences in cookie cutter shark-induced body scar marks between J and O stocks of common minke whales in the western North Pacific. Paper SC/J09/JR28 presented to the JARPN II Review Workshop, Tokyo, January 2009 : 7pp.

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2009) : The IUCN Red List of Threatened Species on the Internet at http://www.iucnredlist.org/

International Whaling Commission. (2001) : Report of the Workshop on the Comprehensive Assessment of Right Whales: A worldwide comparison. Journal of Cetacean Research and Management. (special issue) , 2 : 1-60

International Whaling Commission. (2004) : Report of the Scientific Committee, Annex D. Report of the sub-committee on the revised management procedure. Journal of Cetacean Research and Management , 6 : 75-184

Kanda, N., Goto, M., Kishiro, T., Yoshida, H., Kato, H., and Pastene, L.A. (2009) : Update of the analyses on individual identification and mixing of J and O stocks of common minke whale around Japanese waters examined by microsatellite analysis. Paper SC/61/JR5 presented to the IWC scientific committee : 14pp.

加藤渓介・宮下富夫・鈴木直樹・桜本和美（2007）：オホーツク海におけるナガスクジラ（*Balaenoptera physalus*）の資源量と水温・水深に対する分布の傾向．2007年度日本水産学会春季大会講演要旨集：191

Miyashita, T., and Kato, H. (1998) : Recent data on the status of right whales in the NW Pacific Ocean. Paper SC/M98/RW11 presented to the IWC Special Meeting of the Scientific Committee twards a Comprehensive Assessment of Right Whales Worldwide : 16-25

宮下富夫（1997）：オホーツク海における鯨類の分布—近年の目視調査の結果から—, 国際海洋生物研究所報告，7 : 21-38

Mizroch, S. A., Rice, D. W., and Breiwick, J. M. (1984) : The fin whale, *Balaenoptera physalus*. Marine Fisheries Review, 46 (4) : 20-24

Nakano, H., and Tabuchi, M. (1990) : Occurrence of the cookiecutter shark, *Isistius brasiliensis* in surface waters of the North Pacific ocean. Japanese Journal of Ichthyology, 37: 60-63

Ohsumi, S., and Wada, S. (1974) : Status of whale stocks in the North Pacific, 1972. Report of the Scientific Committee, Annex N : 114-126

Scarff, J. E. (1991) : Historic distribution and abundance of the right whale (*Eubalaena glacialis*) in the North Pacific, Bering Sea, Sea of Okhotsk and Sea of Japan from the Maury Whale Charts, Report of the International Whaling Commission, 41 : 467-489

Scarff, J. E. (2001) : Preliminary estimates of whaling-induced mortality in the 19th century Northern Pacific right whale (*Eubalaena japonicus*) fishery, adjusting for struck-but-lost whales and non-American whaling. Journal of Cetacean Research and Management (special issue) , 2 : 261-268

高橋正征（1996）：海洋生態系動態の見地からのオホーツク海研究の必要性と緊急性．月刊海洋，28（9）：534-537

Vladimirov, V. L. (1994) : Recent distribution and abundance level of whales in Russian Far-Eastern seas. Russian Journal of Marine Biology, 20 : 1-9

（鯨類管理研究室・鯨類生態研究室）

カツオへのアーカイバルタグ装着の試み

松本隆之

実験の背景

アーカイバルタグは、水深、温度データを観測、記録し、また、照度センサーに基づく日出・日没時刻より、水平位置（緯度経度）を推定する、電子標識の一種で、近年、まぐろ類等の大型浮魚類の遊泳行動調査で広く使われている。

これまで、アーカイバルタグを用いたカツオの遊泳行動調査は非常に限られており、東部太平洋にて実施したSchaefer and Fuller（2007）に報告があるに過ぎない。これは、以下のような理由が考えられる。

1．カツオは、資源状態が安定していると考えられ、そのため、遊泳行動等の調査ニーズがあまりなかった。
2．カツオは、船上に取り上げた際に激しく暴れることが多いため、アーカイバルタグの装着が難しい。
3．これまで、アーカイバルタグのサイズが大きく（近年、まぐろ類でよく使われている、カナダLotek社製LTD2310タグの場合、本体部分の長さ7.6cm、直径1.6cm、空中重量45g）、魚体サイズが比較的小型のカツオには向いていなかった。

日本近海に来遊するカツオについて、漁場のひとつである西日本沿岸（四国から紀伊半島にかけての沿岸海域）において、近年、曳縄および竿釣による不漁が継続しており（小倉 2009）、そのため、水研センターでは、平成21年度より3年計画で、運営費交付金プロジェクト研究（交付金プロ研）を実施しており、日本近海のカツオの漁獲データ、海洋環境データ、標識データ等を用いて、来遊の詳細等を明らかにすることにより、その原因究明を目指している。

わが国沿岸に来遊するカツオの来遊経路のひとつとして、黒潮に沿って、南西諸島周辺を経由するルートが想定されているが（田代・内田 1989）、その詳細についてはわかっておらず、また、西日本沿岸における不漁の原因として、回遊ルートに変化が生じた、あるいは、来遊量が減少した等の可能性が考えられる。

回遊の詳細を調べるために、位置推定機能を有するアーカイバルタグの装着放流は、有効な手段と考えられている。近年、小型のアーカイバルタグが開発され（Lotek社製LAT2510、本体部分の長さ3.5cm、直径0.8cm、空中重量4.25g、写真1）、我々が対象としている小型（尾叉長40cm前後）のカツオにも適用できるのではないかと考えた。しかしながら、タグが高価なため（1本約11～17万円）、最初から実際のタグを装着するのではなく、ダミー（模型）を用いて、装着手法を確立し、再捕による、装着後の生存を確認し、また、できれば、通常標識と同程度の再捕が得られることも確認し、小型のカツオに適用可能かどうかを検証する必要があると考え、予備実験を実施した。

実験の内容と結果

予備実験は、前述の交付金プロ研の一環で実施した。実施場所は、鹿児島県奄美大島周辺海域、および、相模湾で、2009年5月および9月に、計2回実施した（表1）。いずれも、竿釣船で漁獲されたカツオを用いた。

装着方法について、これまでの方法では、デッキ上に釣り上げられたカツオを用い、これまで筆者らがまぐろ類で実施したのと同様な、腹腔にメスで切れ込みを入れ、

表1　アーカイバルタグ装着実験の概要（2010年1月現在）．

調査時期	場所	放流尾数	再捕尾数	再捕率（%）
2009年5月	奄美大島周辺	12	2	16.7
2009年9月	相模湾	73	3	4.1



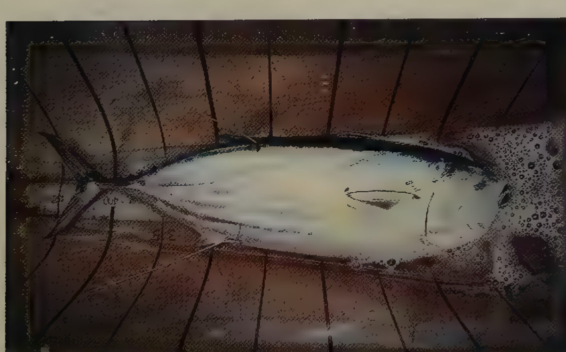
写真1　実験に用いた、アーカイバルタグLAT2510のダミー．

アーカイバルタグ（ダミー）を挿入し、手術用糸で縫合するというものであった。しかしながら、装着時に、カツオが暴れる場合が多く、縫合作業は困難を極め、せっかく糸を通しても、カツオが暴れると糸が外れてしまうこともあり、また、その間に、カツオが弱ってしまうこともあることが知られていた。

そのため、今回の実験では、次の２点の改良を行った。ひとつは、魚の漁獲、取り上げについて、原則として、デッキ上に取り上げられた（落とされた）魚ではなく、釣針に掛かった魚をそのまま、海水を張った測定台に入れ、もしくは、魚をデッキに落とさずに釣鈎を外し、水を張ったバケツに入れて運搬し、測定台に入れ、標識装着に用いた。そうすることで、魚の状態がよく、暴れることが少なくなった。ただし、それでも激しく暴れた場合は、装着を取り止め、もしくは、通常標識のみの装着とした。もう１点は、腹部の切り口の縫合方法として、縫合用糸ではなく、ステープルガン（生体用ホチキス、写真２）を用いたことである。これにより、作業を短時間で行うことができ、魚体へのダメージを最小限に抑えることができたと考えられる。



写真２　調査に用いたステープルガン（生体用ホチキス）.


写真３　標識（通常標識およびアーカイバルタグダミー）を装着したカツオ.

結果として、表１に示すとおり、２回の調査で、それぞれ２尾、３尾の再捕が得られ、標識魚が生存していたことが実証された。また、これらの実験の際に、同時に実施した通常標識放流調査では、全体としておよそ5%の再捕があり、アーカイバルタグ装着個体の再捕率は通常標識と比べても低くないことが示された。以上のように、予備実験により装着方法はほぼ確立できたと考えられ、これらの方法を今後の調査でも生かしていくつもりである。

今後について

今回の予備実験により、小型カツオに対してアーカイバルタグが適用可能であることが実証され、また、装着手法がほぼ確立されたと考えられるので、今後は、装着方法、魚の取り扱い方法のさらなる改良を目指すとともに、実際のアーカイバルタグ（LAT2510）をカツオに装着し、わが国沿岸に来遊するカツオの、回遊の詳細（黒潮沿いおよびそれ以外の回遊経路、来遊開始要因、海洋環境との関係等）を調べる予定である。具体的には、平成22年度以降、交付金プロ研等により、中南海域等における調査を予定している。カツオの回遊について、まだわかっていないことが多いが、これらの調査により、その一端が明らかになることが期待される。

なお、アーカイバルタグについて、さらに小型のものが開発中との話を聞いており（Schaefer 私信）、今後の遊泳行動追跡調査研究の発展に寄与することが期待される。

参考文献

小倉未基(2009)：中西部太平洋のカツオ資源．遠洋リサーチ&トピックス　第６号：2-6

Schaefer, K. M., and Fuller, D. W. (2007)：Vertical movement patterns of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern equatorial Pacific Ocean, as revealed with archival tags. Fish. Bull., 105 (3)：379-389

田代一洋・内田為彦（1989）：標識放流結果からみた薩南海域へ来遊するカツオの移動．宮崎水試研報第４号：1-34

（熱帯性まぐろ研究室）

遠洋水産研究所平成 21 年度研究奨励賞受賞論文の紹介

標識放流データによる大西洋クロマグロの移動率と漁獲死亡率のベイズ推定

Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 66, 321-342 (2009)

黒田啓行 , M. McAllister, B. Block, G. Lawson, J. Nogueira, and S. Teo

本研究（Kurota et al. 2009）は 2006 年 10 月から 1 年間 British Columbia 大学（UBC；カナダ）で行われた在外研究の成果の一部である。McAllister 博士（UBC）や Block 教授（Stanford 大学）らと一から立ち上げたプロジェクトであったため、滞在中に完了させるのは時間的に困難かと思われたが、共同研究者らの献身的な協力により、短期間で論文をまとめられたのは幸運であった。プロジェクトの効率的な進め方など、いろいろ学ぶことが多い国際共同研究だった。

1）はじめに

標識再捕データは、標識魚が非標識魚とよく混合し、かつ再捕報告率がわかれば、移動率や漁獲死亡率などの推定に用いることができる（同号の市野川研究員の研究紹介も参照；Ichinokawa et al. 2008)。大西洋クロマグロでは、通常標識のほかに 800 本以上の記録型電子標識（ポップアップタグ、アーカイバルタグ）が Block 教授らによって放流されている（Block et al. 2001, 2005)。ポップアップタグは予め設定された日時に魚体から離れ、人工衛星を通じて情報を送信するため、再捕の必要がなく、報告率の問題を回避できる。そのため、移動率の推定に有用である。またアーカイバルタグは高額の報奨金のおかげで、通常標識より報告率が高いと考えられる。

これまで大西洋クロマグロは ICCAT（大西洋まぐろ類保存国際委員会)によって、西経 45 度線を境に東西別々に管理が行われてきた。これは東西間の魚の移動がほとんどないことを前提にしている。ところが、Block 教授らの調査により、高頻度の東西間移動が観察されている。適切な資源管理には漁獲死亡率の正確な推定と同時に移動率の把握も不可欠である。そこで、主にアメリカ東海岸から放流された 3 種類の標識データ（ポップアップタグ、アーカイバルタグ、通常標識）を解析するため、空間構造モデルを作成し、年当たりの東西間移動率および各年の漁獲死亡率をベイズ推定した。

2）方法

本モデルでは 1990 年以降に標識された魚のみを解析対象とし、その再捕数（ポップアップタグの場合は浮上数）をモデル化する。個体群動態モデルはコホート（同一年級群）を単位とし、2 地域（西経 45 度で大西洋を二分）間で年齢に依存した移動が起こると仮定した。また再捕数に観測誤差、死亡率にプロセス誤差を考慮した状態空間モデルとなっている。なお本研究では記録型標識の放流位置、再捕（もしくは浮上）位置の 2 点のみを解析対象とし、その間の位置情報は使用していない。また単純化のため、東西系群間の移動率の差異などは考えず（すなわち一系群として扱う)、CPUE などの漁業情報も用いていない。

ベイズ統計では、ベイズの定理に従い、事前分布（観測データを得る前に、ある変数について知られている

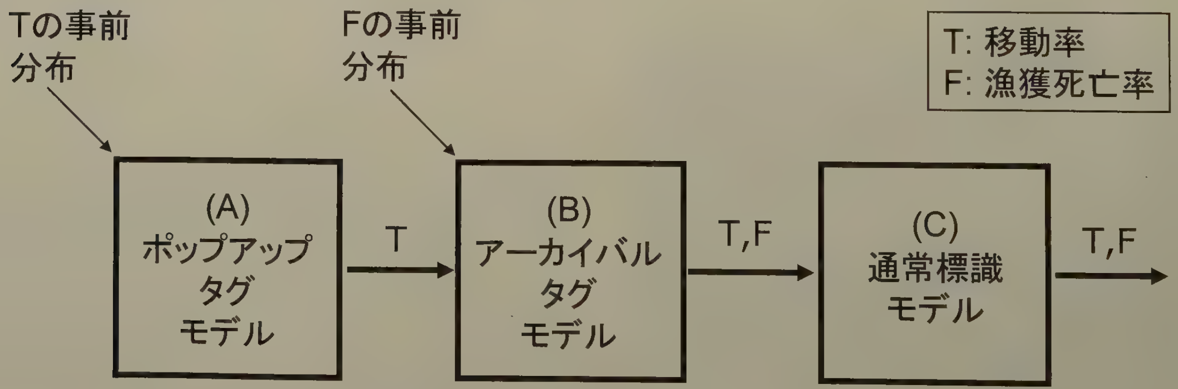


図 1　本研究で用いた逐次的アプローチの概略（Kurota et al. (2009) の Fig. 1 を改変)

度合を確率として表現したもの）と尤度（データから推測されるある変数についての尤もらしさ）を掛け合わせることで、パラメータの事後分布（データを考慮に入れた条件で、ある変数について知られている度合を確率として表現したもの）を推定する。そのため、推定値の不確実性の定量的な評価にも適している。本研究の特色として、逐次的アプローチを用いた点が挙げられる。これは、主要パラメータについて、ある解析で得られた事後分布を次の解析の事前分布として用いることで、推定値を順次更新していく手法であり、複雑なモデルをいくつかのシンプルなモデルに分割して解析することができる。本研究では、3 種類の標識データそれぞれについてモデル化を行い、順次その情報を追加していった（図1）。まず漁獲の影響を受けないポップアップタグデータより年齢別移動率を推定する。次にその事後分布をアーカイバルタグモデルの事前分布として用い、移動率をベイズ更新すると共に漁獲死亡率を求める。最後に調査実施期間がより長い通常標識データより、移動率、漁獲死亡率などのパラメータの更新を行った。ソフトウェアはWinBUGS を用い、パラメータの事後分布は MCMC（マルコフチェイン・モンテカルロ法）によって求めた。

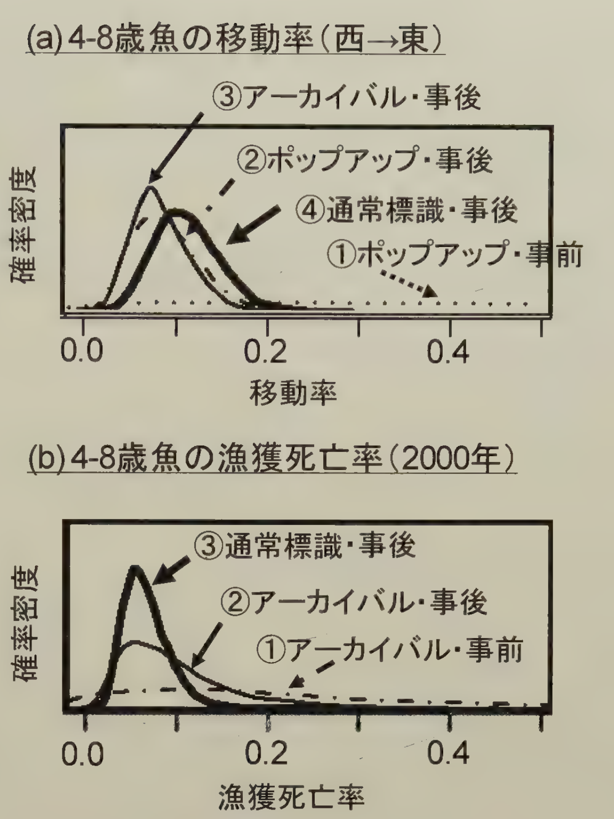


図 2. 移動率、漁獲死亡率の各標識モデルにおける事前分布、事後分布の変化（Kurota et al.（2009）の Fig. 2 の一部を改変）

3）結果・考察

逐次的アプローチにより、情報が増えるにしたがって、多くのパラメータの推定値が更新された。特に、西部から東部への移動率や西部での漁獲死亡率はもとの事前分布に比べてより精確になることが確認できた（図 2）。西から東への 1 年あたりの移動率は高齢になるほど高くなり、若齢魚（0 歳から 3 歳）ではおよそ 7%、成熟魚（9 歳以上）では 15%ほどだった。定性的にはこれまでの知見に矛盾しないが、移動率そのものはこれまで考えられていたものより大きいようだ。一方、東から西への移動率は年齢にかかわらず 20%ほどだったが、東部からの放流データが少ないこともあり、推定値の不確実性は大きかった。

漁獲死亡率に関して、西部では 1990 年以降、明確な傾向は見られなかった（図 3）。若齢魚の漁獲死亡係数（F）は年平均 0.1 以下だったが、4-8 歳、9 歳以上では自然死亡率（約 0.13）とほぼ同レベルだった。一方、東部では西部に比べて漁獲死亡率はかなり高く、年齢によっては西側の 3 倍以上であった。不確実性も大きいため、はっきりとは言えないが、90 年代後半以降、漁獲死亡率は上昇傾向にあり、その漁獲レベルは持続的とは言いがたいようだ。またいくつかの制約条件のもとで、通常標識の再捕報告率の推定も可能であったが、西部では東部より報告率が高いこと、また両地域とも近年報告率が低下していることが明らかになった。

このように複数の情報を統合していく際、ベイズ統計の枠組みは解析を容易にすることがある。ただし、事前分布の設定などについては、十分な検討と確認が必要であることを今回の解析で感じた。今回のモデルは比較的単純な構造であるが、他のいくつかの任意の仮定とあわせて、今後オペレーティングモデル（シミュレーション）などを用いてモデル構造や逐次的アプローチの妥当性などをさらに検証していく必要があろう。ちなみに、本研究の発展型として、記録型標識が持つ経路情報や CPUE などの漁業情報を加味することで、系群別の詳細な移動回遊と漁業との相互作用を考慮した時空間モデルが、UBC の Taylor 博士を中心に現在開発されている。

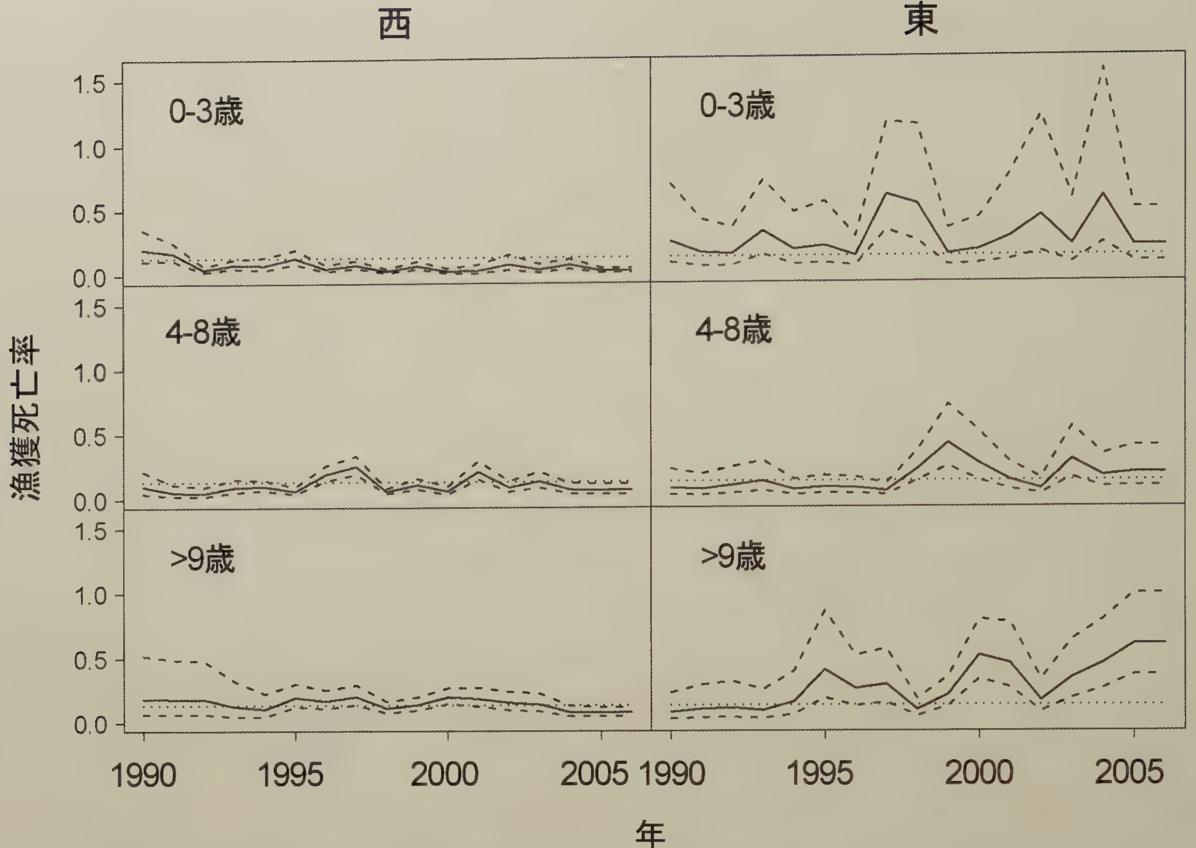


図３　年齢別、地域別の漁獲死亡係数（実線　中央値、破線　10%、90%点、点線　自然死亡係数）（Kurota et al.（2009）の Fig. 3 を改変）

引用文献

Block, B. A., Dewar, H., Blackwell, S. B., Williams, T. D., Prince, E. D., Farwell, C. J., Boustany, A., Teo, S. L. H., Seitz, A., Walli, A., and Fudge, D.（2001）: Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. Science, 293 : 1310–1314

Block, B. A., Teo, S. L. H, Walli, A., Boustany, A., Stokesbury, M. J. W., Farwell, C. J., Weng, K. C., Dewar, H., and Williams, T. D.（2005）: Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. Nature, 434 : 1121–1127

Ichinokawa, M, Coan, A. L., and Takeuchi, Y.（2008）: Transoceanic migration rates of young North Pacific albacore, *Thunnus alalunga,* from conventional tagging data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 65 : 1681-1691

Kurota, H., McAllister, M.K., Lawson, G.L., Nogueira, J.I., Teo, S.L.H., and Block, B.A.（2009）: A sequential Bayesian methodology to estimate movement and exploitation rates using electronic and conventional tag data: application to Atlantic bluefin tuna（*Thunnus thynnus*）. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 66: 321-342

（温帯性まぐろ研究室・黒田啓行）

通常標識を用いたビンナガの北太平洋における渡洋回遊率の推定

Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 65, 1681-1691（2008）

市野川 桃子 , Atilio L. Coan, 竹内 幸夫

高度回遊性魚類と呼ばれるかつお・まぐろ・かじき類は、文字通り、広い海域を回遊し、様々な国で漁業資源として利用されている。種毎の回遊パターンは、季節や成長段階によって異なるため、いつ･どこで･どのように･どのくらい回遊するか？を知ることは、漁況予測や資源評価・管理にとって非常に重要である。本稿では、2008年に発表された、北太平洋ビンナガの回遊の「どのくらい」を解明した研究（Ichinokawa et al. 2008）を紹介したい。

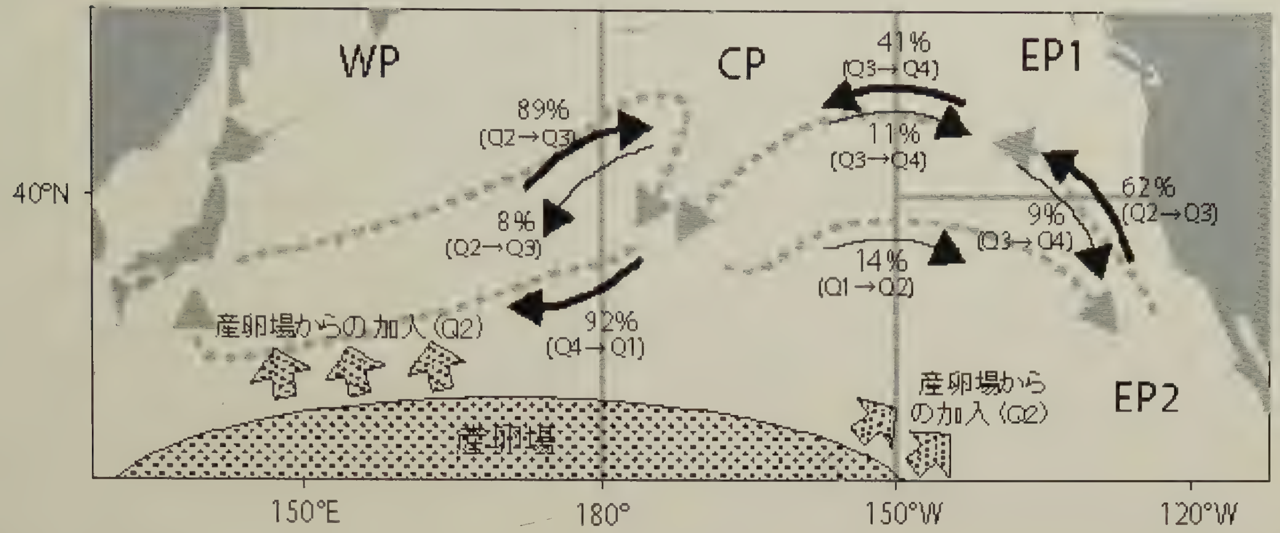


図 1. 本研究で推定された北太平洋ビンナガ若齢魚の四半期別の海域間移動率（太実線矢印）と Otsu and Uchida（1963）によって指摘されていた海域間の移動のしかた（灰色点線矢印）。Q1, Q2, Q3,Q4 は、順に第 1, 2, 3, 4 四半期を示す。
（Ichinokawa et al.（2008）の Fig. 1 を改変）

本研究は、1971-1986 年に放流された通常標識実験の結果を解析したものである。北太平洋のビンナガの若齢魚に装着された 28,323 本の通常標識は 1,458 本が回収された。またこの期間、北太平洋の東西で米国・日本の両国による標識放流が同時に行われていた。米国からの標識放流実験から漁獲死亡係数と自然死亡係数を推定した解析は Bertignac et al.（1999）で発表されているが、日米両国の実験結果を併せて移動率まで推定した解析は本研究が初となる。本研究では、標識の放流・採捕場所の地理的分布を考慮して北太平洋を図 1 のように分割し、それぞれの海域間の季節別移動率を標識動態モデル（Hilborn 1990）から最尤法を用いて推定した。

推定された海域間の移動率（図 1）は、漁業の地理的分布や通常標識の暫定的な解析により提唱されていた回遊パターン（Otsu and Uchida 1963）を裏付けるものであった。つまり、春（第 2 四半期、Q2）に、最若齢の 2 歳魚が北西太平洋（WP）と北東太平洋のカリフォルニア沿岸（EP2）に加入し、その後、EP2 に加入したものは、春から夏（第 3 四半期、Q3）にかけて北東太平洋のカナダ沿岸部（EP2）に北上する。さらに、夏から秋（第 4 四半期、Q4）にかけてその約半数が北太平洋の中央域（CP）に移動する。一方、北西太平洋（WP）に加入した若齢魚は、春から夏にかけてその大半が CP に移動し、秋から冬（第 1 四半期、Q1）に WP に回帰する。

さらに、今回推定された移動率をもとに計算すると、ビンナガの若齢魚は太平洋を東向きに移動するよりも、西向きに移動する頻度が高いことが明らかになった。これは、EP2 に加入した未成熟魚が、産卵場所がある西・中央太平洋に徐々に移動することを示しており、本種の生活史と合致している。推定した移動率をもとに計算すると、EP2 に加入した若齢魚は、成熟開始年齢である 5 歳までに、その 6 割以上が WP または CP の海域に移動する結果となった。一方、WP に加入した若齢魚の 90% 以上は、5 歳を過ぎても WP または CP の海域に留まり、EP1 や EP2 に移動することはない。このような移動率の偏りにより、東西太平洋の別々の海域に加入したビンナガ若齢魚も、最終的には混合していくものと思われる。

最近は、回遊パターンの「どのように」を解明するための電子標識による研究が脚光を浴びており、本稿で紹介した通常標識実験は手法として新しいものが感じられないと思われるかもしれない。しかし、本研究で示したように、電子標識で困難な定量的な解析において、通常標識は非常に有用である。今後は、通常標識と電子標識の両者の利点を生かすより発展的な解析方法（例えば、同号の黒田主任研究員による研究紹介 , Kurota et al. 2009）により、通常標識の実験結果の再利用が進むことを期待したい。

最後に、本研究は私が 5 年前に遠水研に来て初めて本格的に手がけたものである。論文として発表されるまで時間がかかったものの、研究結果を無事発表できたこと、また、それが奨励賞という形で評価されたことに対し、本研究をサポートしてくださった遠水研の先輩方、ISC

ビンナガ作業部会のメンバー方々には謹んでお礼を申し上げたい。

引用文献

Bertignac, M., Hampton, J., and Coan, A.L., Jr. (1999) : Estimates of exploitation rates for north Pacific albacore, *Thunnus alalunga,* from tagging data. Fish. Bull., 97 : 421-433

Kurota, H., McAllister, M. K., Lawson, G. L., Nogueira, J.I., Teo, S. L. H., and Block, B. A. (2009) : A sequential Bayesian methodology to estimate movement and exploitation rates using electronic and conventional tag data: application to Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) . Can. J. Fish. Aquat. Sci., 66 : 321-342

Hilborn, R. (1990) : Determination of fish movement patterns from tag recoveries using maximum likelihood estimators. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47 : 635-643

Ichinokawa, M., Coan, A. L., and Takeuchi, Y. (2008) : Transoceanic migration rates of young North Pacific albacore, *Thunnus alalunga,* from conventional tagging data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 65 : 1681-1691

Otsu, T., and Uchida, R. N. (1963) : Model of the migration of albacore in the North Pacific Ocean. Fish. Bull., 63 : 33-44

（数理解析研究室・市野川桃子）

日本沿岸におけるツチクジラ外部形態プロポーションの地理的変異

Journal of Cetacean Research and Management, 9 (2) , 89-93 (2007) , 木白俊哉

ツチクジラは、アカボウクジラ科に属するハクジラ類で、成体の体長は10～12 mに達し、ハクジラ類のなかではマッコウクジラについで大きな種である（図1)。全てのヒゲクジラ類とマッコウクジラを対象とした我が国の商業捕鯨は、1987年漁期を最後に、国際捕鯨委員会（IWC）による商業捕鯨モラトリアムを受け入れ停止された。しかし、ツチクジラはＩＷＣの管轄外種であったためモラトリアムの対象とならず、我が国の自主管理のもとに、大臣許可漁業の小型捕鯨業によって、全国4ヶ所（千葉県和田浦、宮城県鮎川、北海道網走、函館）の捕鯨基地で、捕獲水揚げが続けられている。ミンククジラの商業捕獲停止以降、本種の捕獲は小型捕鯨の存続になくてはならないものとなっているが、本資源を適切に管理し持続的な利用を図っていく為には系群構造の解明が必要不可欠とされる。

本論文（Kishiro 2007）は、これに資するため、日本の太平洋側沿岸、日本海、オホーツク海において1988～2004年に捕獲されたツチクジラ172頭の外部形態プロポーションついて、海域間の比較分析を行ったものである。余談であるが、生物データの収集は、本論文で扱った外部形態の計測も含め、解体現場で行われる。筆者も長年にわたりこれに携わってきた。今でこそ、現場の理解と協力も得られ穏やかに調査できるようになってきた



図1. 千葉県和田浦に水揚げされたツチクジラ

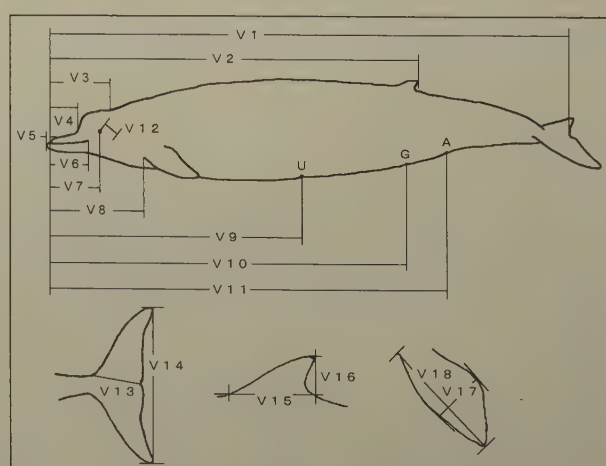


図2. ツチクジラ外部形態の計測部
（Kishiro (2007) の Fig. 2 を改変）

ものの、筆者が携わり始めた当時は、深夜や早朝など不規則な時間帯の中で解体を急ぐ解剖夫や事業員達にせかされ罵倒され、鯨の血しぶきや脂にまみれながら収集してきた貴重なデータでもある。解体現場を飛び回り 10 m 前後のものを急かされながら 1 人で計測して回ることの厳しさは鯨の生物調査ならではと言ってよいであろう。しかしそれ故に、哀しいことに計測値としては不正確なもの、計測基点が不明確なもの、また、測定前に切り刻まれ欠足値にせざるを得ないものも多々あった。解析時には、これらを極力除くとともに、計測者の違いによる影響を排除するため、太平洋（1992-2001 年）と日本海（1999-2004 年）については筆者自身による計測値のみを用いて分析を行った（オホーツク海（1988-2004 年）は標本数が少ないため、複数の計測者によるデータを用いた）。

形態を比較する際、次に重要な点は、体の大きさの違いによる要因を除くことである。そこで、まず対数変換した体各部の計測値を多変量とみなし、図 2 に示した 18 箇所のうち計測基点が明確で、かつデータ数も多い 14 箇所（V1-V12, V17, V18）を用いて主成分分析（PCA）を行い、全ての係数（固有ベクトル）が正となる第一主成分を体サイズの要因として抽出した。次に、これを除いた残りの主成分によって得られる主成分スコア値を用い、正準判別分析を行った。その結果、体各部 14 箇所の多変量に基づく第一正準変量と第二正準変量の分布は、若干重なりはあるものの、日本海、オホーツク海、太平洋の三つの海域に別れ、特に、日本海と太平洋のグループの間には正準変量の分布に統計的な有意差が認められた（図 3）。また、体の各部位を個別にみた場合においても、体長を共変量にとった共分散分析の結果から、日本海のものは太平洋のものより胸鰭の大きさが 3.9-8.3% 有意に小さいことが明らかとなった。このような外部形態の違いは、海域間で個体の交流が少ない、すなわち系群が異なることに起因するものと考えられる。

これまで本種の系群構造については、目視分布の情報から、おそらく各々の海域に異なる系群が存在するであろうと想定されてきたが、本研究によって、特に日本海と太平洋の違いについて実際の生物データに基づいてこれをサポートすることができた。これらの結果は、別途行われた mtDNA 分析の結果とも整合し、2005 年漁期から導入された海域毎の独立した捕獲枠の設定などを通して、本種に対する資源管理施策の改善に貢献している。

現在、本種については、資源量推定法の改良と海域毎の資源量推定値の更新、資源管理モデル開発等、管理方法のさらなる高度化に向けた調査研究が進められている。今後、これまで蓄積してきた生物データの分析も進め、年齢、成長等の生物学的特性に関しても系群毎の特性を明らかにしていきたいと考えている。

（鯨類管理研究室・木白俊哉）

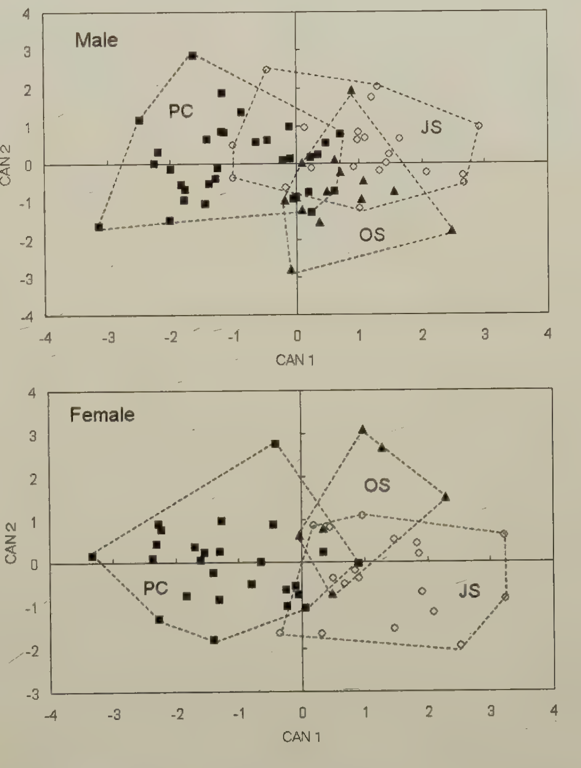


図 3. 正準判別分析による第 1 正準変量（CAN1）と第 2 正準変量（CAN2）の散布図
JS（○）：日本海標本、OS（▲）：オホーツク海標本、PC（■）：太平洋標本
（Kishiro（2007）の Fig. 3 を改変）

引用文献

Kishiro, T. (2007): Geographical variations in the external body proportions of Baird's beaked whales (*Berardius bairdii*) off Japan. J. Cetacean Res. Manage. 9(2): 89-93

COLUMN —統計一口メモ—

【第6回】古くて新しい縮小推定のおはなし

本稿では、共分散分析（回帰分析・分散分析を含む）における変数選択に焦点を当てて、縮小推定と呼ばれる近年発展している包括的な変数選択手法についてご紹介したい。この方法は、従来広く用いられていたAICなどの情報量規準やF検定、カイ二乗検定に代表されるstepwise検定とは異なり、二乗誤差の式にペナルティ項を付け加えることによって、ある意味機械的に変数選択（モデル選択）を行う手法である。

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 x_{i1} + K\ + \theta_p x_{ip} + \varepsilon_i = \sum_{j=0}^{p} \theta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

where i=1,…,n, j=0,…,p, n:標本数, p:パラメータ数, $x_{i0}=1$の形で表される共分散分析モデルにおいて、多重共線性および頑健性（便宜的な呼称）と呼ばれる問題が知られている。

多重共線性というのは、説明変数間に強い相関がある場合に起こる現象で、上の共分散分析モデルを行列表示するとy=X θ + ε（y:応答変数,X:観測変数, θ :未知母数, ε :誤差）となり

$\min_\theta \|y - X\theta\|_{l_2}^2$ の解は$\hat{\theta} = (X^t X)^{-1} X^t y$ （X^{-1} : Xの逆行列, X^t : Xの転置行列） where $\|\theta\|_{l_2} = \left(\sum_{j=1}^{p} \theta_j^2 \right)^{1/2}, \|\theta\|_{l_1} = \sum_{j=1}^{p} |\theta_j|,$

とexactに解けるが、X^tXが正則にならないゆえに逆行列が不定になる。そこで考案されたのがRidge回帰（Hoerl and Kennard 1970）という方法である。

ここではある λ >0に対して $\min_\theta \{\|y - X\theta\|_{l_2}^2 + \lambda \|\theta\|_{l_2}^2\}$ の最適化を考えることによって、（I: 単位行列）における行列の退化を防いでいる（単位行列の λ 倍（ λ I）が加わっているため）。

次に頑健性の問題である。これは外れ値に対する影響が大きいという現象にも見て取れるが、端的に言えば汎化誤差に対する予測性能が悪い、という点に尽きる。データを学習用と検証用にランダム分割した場合、学習用データにてモデルを構築し、検証用データを利用して個々の観測データとそれに対応するモデルからの推定値（予測値）の当てはまりの良さ（二乗誤差）を測定するのだが、共分散分析モデルにおいては、一般にこの汎化誤差の予測性能が良くないことが知られている。この問題は変数選択とも密接に関係しており、変数の数を増やしていけばいくほど学習用データに対する当てはまりは良くなるが（過学習）、検証用データに対する当てはまりは悪くなっていく。そこで、汎化誤差に対する予測性能向上を目的として考案されたのが、LASSO（least absolute shrinkage and selection operator: Tibshirani 1996）と呼ばれる推定量であり、ある λ >0に対して

$\min_\theta \{\|y - X\theta\|_{l_2}^2 + \lambda \|\theta\|_{l_1}\}$ の最適化を行う。この推定量は、形の上ではRidge回帰におけるL2ノルムのペナルティ項をL1ノルムに変更しただけだが、その挙動は全く異なり、ペナルティ項の効果ゆえに有意でない多くのパラメータをゼロと推定し、スパースな解が得られる。

オリジナル論文では $\min_\theta \|y - X\theta\|_{l_2}^2$, subject to $\|\theta\|_{l_1} \leq t$

と定義されているが、全ての λ に対してt≧0であるようなtが必ず1つ存在し、双方とも同じ解を与える（Osbourne et al. 2000）。

ただ、このLASSOは縮小し過ぎてしまう傾向を持つことから、L1ノルムとL2ノルムの線形結合の形のペナルティを持つElastic Net（Zou and Hastie 2005）が新たに提案された（次式）

$$\min_\theta \{\|y - X\theta\|_{l_2}^2 + \lambda[\alpha\|\theta\|_{l_1} + (1-\alpha)\|\theta\|_{l_2}^2]\} (\lambda > 0, 0 < \alpha < 1)$$

なお､これらの縮小推定においてチューニングパラメータ λ の値はcross-validationにより決定することが一般的であるが、AICやBICなどの情報量規準を利用することも可能である。

これまでざっと駆け足で説明してきた縮小推定法であるが、その他にもLASSOにおける λ の値をトレースするための有効なアルゴリズム（LARS: Efron et al. 2004）など数多くの斬新な手法が考案されている（Hastie et al. 2009）。LASSOに代表される縮小推定手法は、DNA解析など実社会でも多く直面するNP問題と呼ばれる標本数よりパラメータ数が多い場合の推定手法とも密接な関わり合いを持ち、今日の数理統計学におけるホットな研究テーマの1つになっているが、今回は紙面の制約もあり割愛させていただきたい。個人的にはこれらブレークスルーの殆どがStanford大学統計科学部の研究グループによって行われたことに対し、驚きを禁じ得ない。

引用文献

Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I., and Tibshirani, R. (2004): Least angle regression (with discussion), The Annals of Statistics, 32 (2): 407-499

Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J. (2009): The

elements of statistical learning, 2nd edition, Springer, 745pp.

Hoerl, A. E., and Kennard, R. (1970) : Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems, Technometrics, 12 : 55-67

Osbourne, M., Presnell, B., and Turlach, N. (2000) : On the lasso and its dual, J. of Computational and Graphical Statistics, 9 : 319-337

Tibshirani, R. (1996) : Regression shrinkage and selection via the Lasso, J. of the Royal Statist. Soc. B, 58 (1) : 267-288

Zou, H., and Hastie, T. (2005) : Regularization and variable selection via the elastic net, J. of the Royal Statist. Soc. B, 67 (2) : 301-320

（数理解析研究室・庄野　宏）

遠洋水産研究所主な出来事（平成21年4月1日～平成21年9月30日）

●国際会議

月	用　務	出張先
3～4	IOTC 第13回年次会議(西田)	バリ(インドネシア)
4	2010年WCPFC資源評価のための事前会合(宮部、岡本)	ヌーメア(ニューカレドニア)
4	CITES(ワシントン条約)第24回動物委員会(中野)	ジュネーブ(スイス)
4	ICCAT 熱帯性まぐろ作業部会(宮部)	マドリード(スペイン)
4～5	IOTC 標識放流調査及び第3回東インド洋ワークショップ(西田)	マレ(モルディブ)
5	IATTC 資源評価作業部会(岡本、松永、南)	デルマール(アメリカ)
5	ISCカジキ類作業部会及びISC生物研究業務作業部会(余川)	釜山(韓国)
5	WCPFC北委員会マカジキ作業部会非公式会合及びISC生物研究業務作業部会(宮部、中野)	釜山(韓国)
5	ISC生物研究タスクグループ会議(竹内)	釜山(韓国)
5～6	第61回国際捕鯨委員会年次会合科学委員会(魚住、宮下、木白、岡村)	フンシャル(ポルトガル)
5～6	NAFO(カラスガレイワークショップ+2009年度科学理事会)(西田)	ダートマス(カナダ)
6	IATTC 第80回年次会合(小倉)	ラホヤ(アメリカ)
6	ICCAT-ICESニシネズミザメ資源評価会合(松永)	コペンハーゲン(デンマーク)
6～7	CCAMLR(南極海洋生物資源保存委員会)作業部会(清田、瀧)	ベルゲン(ノルウェー)
7	IOTC(インド洋まぐろ類委員会)第7回かじき作業部会(西田)	ビクトリア(セーシェル)
7	ISC年次会合及び作業部会(宮部、中野、竹内)	高雄(台湾)
7	ISCビンナガ作業部会(松本)	同上
7	ISCクロマグロ作業部会(市野川、大島、甲斐)	同上
7	ISC統計作業部会、プレナリー会合、WCPFC北委員会マカジキ作業部会出席及び台湾大学との打ち合わせ(余川)	高雄、台北(台湾)
7	CCSBT(みなみまぐろ保存委員会)作業部会(伊藤、黒田)	シアトル(アメリカ)
7	第6回オブザーバー国際会議(西田)	ポートランド(アメリカ)
7～8	第1回SEAFDEC地域ワークショップ(岩崎)	サムットプラカン(タイ)
8	北太平洋公海漁業管理に関する第7回科学者協議及び政府間協議(本多、柳本)	シアトル(アメリカ)
8	CCAMLR(南極海洋生物資源保存委員会)、VME(弱海洋生態系作業部会)(林原)	ラホヤ(アメリカ)
8	WCPFC(中西部太平洋まぐろ類委員会)第5回科学委員会(本多、宮部、小倉、岡本、余川、南、庄野、佐藤(圭))	ポートビラ(バヌアツ)
8	米NMFS主宰「自然死亡件数の推定に関するワークショップ」(竹内、市野川)	シアトル(アメリカ)
8	SEAFO作業部会準備:日韓共同解析(打ち合わせ・共同作業)(西田)	釜山(韓国)
8～9	CCSBT(みなみまぐろ保存委員会)・ERS(生態関連種会議)(中野、伊藤、松永、南、高橋、黒田、境)	釜山(韓国)
9	CIAC(国際頭足類諮問委員会)ワークショップ及びシンポジウム(酒井)	ビゴ(スペイン)
9～10	NAFO(VME作業部会)・SEAFO(科学小委員会・VMEワークショップ・科学委員会・年次会合)(西田)	ベルゲン(ノルウェー)・スワコップムンド(ナミビア)
9～10	ICCAT魚種別グループ会合及びSCRS年次会合(小倉、中野、魚崎、黒田)	マドリード(スペイン)
9～10	WCPFC(中西部太平洋まぐろ類委員会)第5回技術遵守委員会(宮部)	ポンペイ(ミクロネシア)

●学会・研究集会

月	用　務	出張先
4	水産海洋シンポジウム「生態系アプローチと水産資源の持続的利用を考える」(高橋)	東京都
4	2009年度日本海洋学会春季大会(瀧)	東京都
4	第14回JARPNⅡレビュー作業部会(木白)	東京都
4	第47回クロミンククジラ資源量分科会(宮下、岡村)	東京都
6	東京大学シンポジウム「食卓に迫る危機」(清田)	東京都
7	平成21年度第1回鯨資源研究会幹部会(宮下、木白)	東京都
7	第15回JARPNⅡレビュー作業部会(宮下、木白、岡村)	東京都
7	近畿大学グローバルCOEプログラム平成21年第1回シンポジウム(宮部)	東京都
8	JARPNⅡ包括協議会(宮下、木白)	東京都
9	第4回北太平洋ミンククジラ分科会(宮下)	東京都
9～10	日本水産学会秋季大会(魚住、田邉、高橋、松永、柳本、南川)	盛岡市

●フィールド調査(海上)　官船及び水研センター船

月	調査名	海域
5	まぐろ類、カツオ初期生態調査(佐藤(圭):俊鷹丸)	南西諸島海域
5~6	日本南西海域におけるクロマグロ仔稚魚の分布調査(田邉:俊鷹丸)	先島諸島沖から薩南沖にかけての黒潮流域及びその周辺海域
7~8	メバチ混獲回避技術観察調査(仙波:照洋丸)	公海、ミクロネシアEEZ、パプアニューギニアEEZ
8~9	北太平洋マグロ・カジキ類はえ縄漁場環境基礎調査(余川:照洋丸)	北太平洋亜熱帯温帯
9	開洋丸第3次航海乗船調査(林原、柳本:開洋丸)	相模湾

●フィールド調査(海上)　その他船舶

月	調査名	海域
4~9	アメリカオオアカイカ調査(加藤:第八白嶺丸)	カヤオ(ペルー)
6	曳航式カメラシステムの乗船試験(伊藤、境、大島:土佐海洋丸)	高知県沖
7	土佐湾ヨコワ新仔曳縄調査(大島)	土佐湾
7~8	ツチクジラ潜水行動調査(南川:第八開洋丸)	本州及び北海道南部日本海側沖
7~8	オホーツク海ミンククジラバイオプシー調査(吉田、金治:第2昭南丸)	オホーツク海

●フィールド調査(陸上)

月	調査名	出張先
4	カツオ標識放流調査(松本)	大島郡瀬戸内町
4	クロマグロ水揚げ調査及び標本収集打合せ(田邉)	那智勝浦町、名古屋市
4	2009年三陸沖鯨類捕獲調査(吉田)	石巻市
4~5	2009年第二期北西太平洋鯨類捕獲調査(JARPNII)三陸沖調査(金治)	石巻市
5	カツオ標識放流調査(味の素受託)(松本)	大島郡瀬戸内町
5	平成21年度太平洋沿岸カツオ標識放流共同調査での乗船調査(味の素受託)(魚﨑)	大島郡瀬戸内町、奄美大島周辺海域
5	サンゴの採卵と幼生加入等に関する調査(林原)	石垣市
5	クロマグロ水揚げ調査(田邉)	児湯郡川南町
5	三陸沖鯨類捕獲調査(岩﨑)	石巻市
6	サンゴ礁の褐虫藻サイクルに関する研究及びサンゴの幼生加入等に関する調査(林原)	石垣市

それでも地球は動いている

編集後記

2010年がスタートして早くも四分の一が過ぎようとしていますが、今号は新年第一号です。本年もよろしくお願い申し上げます。

この新年第一号にふさわしい景色として、遠洋水産研究所近くの三保半島清水港口から駿河湾と富士山の眺望をご覧ください（写真１）。

さて、昨年来、我が国の遠洋漁業を取り巻く情勢はめまぐるしく動いております。本誌前号Vol.6で取り上げた中西部太平洋のカツオ資源をめぐる課題や今号Vol.7冒頭のメバチ小型魚混獲回避技術の開発など、今年も当研究所が取り組むべき課題は盛りだくさんです。本誌では今後もこうした重要な話題をタイムリーにしかも科学的視点から取り上げていこうと考えています。なにとぞ本誌をご活用下さいますようお願いいたします。

そんな中、今年は新年早々１月中旬に大韓民国済州島で開催された北太平洋公海漁業管理に関する科学者協議および多国間協議に出席する機会がありました。会議は日曜日から金曜日まで６日間連続で行われ、会議場と宿舎が同じホテルという缶詰状態でした（写真２）。今回は北太平洋の公海域に分布するキンメダイやクサカリツボダイなどの重要底魚資源について各国提出の漁業や資源の情報に基づく資源の保存管理措置や海洋生態系保全を考慮した持続的漁業に必要な科学的知見の収集整備等について話し合いました。前の週に九州方面に積雪をもたらした雪雲がここ済州島にも来襲したようで道端には残雪があり、ホテルの部屋から済州島最高峰の漢拏山（ハラサン、1950m）が雪を頂く美しい姿を眺めることもできました（写真３）。会議の最終日には、議事録確認作業の合間に韓国政府の計らいで参加者一同は済州島に三カ所ある世界遺産の一つ「城山日出峯」（ソンサンイルチュルボン）を尋ねることができました（写真４）。ただし、議事録案は出発前に全員に配布されて往復の車中で各自点検という隙のないアレンジでした。お陰で議事録を確認・採択して閉会したのは夜でした。ちなみに、済州島の三つの世界遺産とは、前出の漢拏山と城山日出峯に加えて万丈窟（マンジョングル）という溶岩洞窟群で、これらを総称して世界自然遺産「済州火山島と溶岩洞窟」と言うそうです。富士山の世界文化遺産登録も期待されていますね。

こうした美しい自然とそこに息づく生態系を守りながら水産食料資源を確保する産業活動を持続していくために、私たちは世界の海あるいは会議の場で地道に活動を続けています。

（業務推進部長　本多　仁）

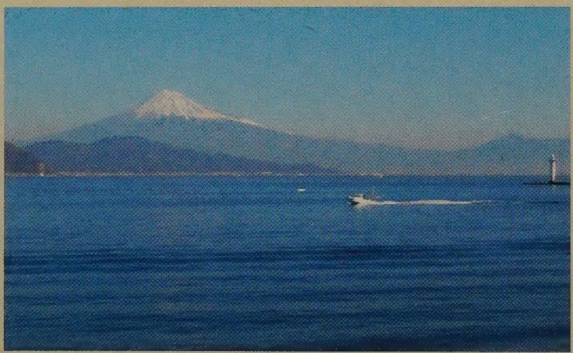


写真１．清水港口、駿河湾から富士山の眺め



写真２．会議風景



写真３．漢拏山



写真４．城山日出峯

FRA
Fisheries Research Agency

発行／独立行政法人 水産総合研究センター　編集／独立行政法人 水産総合研究センター　遠洋水産研究所

〒424-8633 静岡県静岡市清水区折戸5丁目7番1号　TEL 054-336-6000　FAX 0543-335-9642　E-mail：www-enyo@fra.affrc.go.jp

http://fsf.fra.affrc.go.jp/